養液滴灌應用於設施蔬果栽培之研究

Study on fertigation for fruit vegetables in the greenhouse

江汶錦[1]

[1] 行政院農業委員會臺南區農業改良場

*E-mail: wjjiang@mail.tndais.gov.tw

2010 年年報統計全國設施蔬菜面積達 8603.28 公頃，較 2005 年的 4934.74 公頃增加 74%，顯示設施面積增長迅速，且 2011 年台塑六輕承諾捐款 30 億成立雲林縣農業發展安定基金，亦大幅促進雲林地區農業設施的搭建，鑒於設施面積逐年增加，但缺水、土壤鹽害與人力缺乏等問題卻日益嚴重，因此建立設施內的節水省肥省工的栽培模式刻不容緩，而養液滴灌提供一個適合的解決方式，2012 年~2014 年利用設施滴灌技術，種植五期作設施洋香瓜(天華、臺南 11 號)試驗，採平畦栽培大幅減少開溝人力，株距 0.5 公尺採單幹整枝，一株留一果，結果顯示，養液滴灌方式相較於傳統施肥方式，可減少施肥量 30%~50%；相對於作物施肥手冊以面積計算之推薦施肥量(公斤/公頃)，洋香瓜(N : P_2O_5 : K_2O = 110~150 : 210~250 : 160~200)，而養液滴灌施肥量則以單株估算，合理施肥量(公克/株/期作)為 N = 6~10，P_2O_5 = 10，K_2O = 8；以每株 6 公克氮肥，其氮肥利用效率最高可達 80%；收成率達 90%以上較傳統栽培提高 15%以上；根據土壤張力計值，夏季灌水量需超過 53 公升/株/期，而在冬季灌水量 56.3 公升/株/期已經足夠，相對於傳統溝灌可節省約 80%用水量，且大幅減少雜草生長與除草人力，相對提升肥料效率；雖然初期氮肥分配率(45%~85%)處理，對土耕養液滴灌的洋香瓜產量沒有顯著影響，但若考慮生長速度與發酵果比率，則以留蔓期前累積投入 60%的氮肥較佳。以 2013 年 1 期作天華為例，全期作氮肥為 6 g/株，灌水量 53 公升/株/期，均果重 2483 公克、收成率 96%，糖度 16.1，用 100 元/公斤價格換算，每栽培期約 90 天，一期收益可賺得 474 萬元/公頃，若一年栽種 3 期每分地產值超過百萬不是夢想。

關鍵詞：養液滴灌、設施栽培、氮肥利用率、合理化施肥。

前　言

因全球氣候變遷影響，常引起小區域的氣候異常現象，導致農業損失嚴重，為降低生產風險與提高作物生產品質，溫網室栽培的需求也越來越多，2010 年農業年報統計全國設施蔬菜面積達 8603.28 公頃，較 2005 年的 4934.74 公頃增加 74%，顯示設施面積增長迅速，除農政單位補助外，更有企業回饋金補助農友搭設簡易型、加強型、力霸型等溫室，2011 年台塑六輕承諾捐款 30 億成立雲林縣農業發展安定基金，亦大幅促進雲林地區農業設施的搭建，除了溫室面積逐年增加外，同時水資源的缺乏與合理化施肥觀念的深植，農民急需一套省水、省肥、高效的肥培方法，而養液滴灌是個不錯的模式，這 3 年的試驗嘗試使用自動化滴灌系統進行直立式洋香瓜栽培，逐步探討：1.養液栽培與其他施肥法的比較 2.養液滴灌栽培洋香瓜的氮肥利用效率 3.水份管理對設施洋香瓜的影響 4.氮肥分配率對設施洋香瓜的影響。

植物生長所需之 17 種必要元素，依吸收量的多寡區分為大量元素、次量元素及微量元素，傳統耕作模式，是將除碳、氫、氫和氧外的其他養分肥料投入土壤，再藉由植物的根系利用擴散、質流、根截取等方式，將營養要素吸收以供作物生長。為提升肥料利用率，許多文獻常使用其他有別於傳統慣行的施肥方式；如控釋肥的使用可使水稻增產 20%，並節省 75%施肥人力[1]。作物除了靠根吸收營養要素外，也能透過葉子吸收，許多文獻指出葉面施肥有助增產與提高品質[2、3、11、14、19]，提高肥料利用效率等，葉面施用 1 公斤氮素，植物吸收利用量等同土中施用 5 公斤氮素，但人力的支出與施用量的限制是主要的問題，葉面噴灑磷酸鹽和鉀鹽等肥料能誘導植物自身保護機制，對黃瓜白粉病、玉米銹病有效，此效果可能是化肥藥效與植體健康同時產生，但有時葉面噴施肥料不當導致葉片燒傷，減少了光合面積，並降低產量。植物雖有許多方法吸收營養元素，仍以根系為主要吸收途徑，而土壤水份含量的多寡則會嚴重影響根系的吸收能力，當然土壤質地也會影響到水份境況，隨著土壤水分的增加，K/Mg 的量也隨著增加，砂質土之含水量由 15%提升至 60%，植物吸收 K/Mg 由 0.5 提升至 1.7，粘土之含水量由 11%提升至 28%，吸收 K/Mg 由 0.2 提升至 0.5，因此合理化施肥管理不應只有肥料推薦量，仍須搭配適合的水分管裡，隨著科技的發展水份管理由早先粗放的漫灌、溝灌、穿孔管噴灌、噴頭噴灌，到現階段搭配環境感應器的自動化養液滴灌系統，可以同時管理水份與肥料，達到節水、省肥和提升品質的目地[4、13、15、16]。

材料與方法

一、試驗時間、地點、品種

本試驗地點為本場 F4-G3 力霸型溫室，面積約 350 平方公尺，試驗前後土

壤皆採樣，試驗期間為 2012 年 ~2014 年，種植洋香瓜(天華、臺南 11 號)5 作，每作試驗目的不同，採平畦栽培，單幹整枝，一株留一果，每行 16 株，共 20 行，行株距 0.5 m × 1.5 m，每分地約 1333 株，一般單行或雙行植每分地約為 2100 株 ~ 2400 株，田間設計採 CRD，以土耕滴灌方式供水或養液處理，搭配 PLC 與流量計控制灌溉時間與灌水量，並以土壤張力計監測土壤水分含量變化。

二、田間試驗設計

1. 2012 年一期作

目地：比較 5 種不同施肥方式對洋香瓜(天華)產量的影響。

肥料試驗處理主要參考作物施肥手冊之推薦施肥量(公斤/公頃)，洋香瓜($N:P_2O_5:K_2O$=110~150：210~250：160~200)，並設計 5 種施肥方式包含，一般傳統施肥、葉面施肥、養液土耕滴灌、控釋肥、空白對照組等，試驗期程 2 月 2 日育苗、2 月 17 日定植、4 月 2 日授粉(定植後 44 天)、5 月 17 日開始採收(授粉後 46 天)。

5 種處理施肥量分別為：1. 1×傳統施肥量訂為($N:P_2O_5:K_2O$ = 12.5:20.8:12.5) g/株，基肥(43 號 1000 g+過磷酸鈣 833 g) /18 株/行，4 月 10 日追肥(43 號 500 g)/18 株/行。2. 0.8×控釋肥訂為一般傳統施肥 0.8 倍量，用量訂為($N:P_2O_5:K_2O$ = 10:16.7:10) g/株，自製控釋肥編號 172，初期溶出率 5.3%，全量當基肥施用。3. 0.5×養液土耕滴灌訂為一般傳統施肥 0.5 倍量，用量訂為($N:P_2O_5:K_2O$ = 6.3:10.4:6.3) g/株，以 3000 ppm N、P、K 供應，以 5 階段供肥，每天滴灌 1 次為期 75 天。4.葉面施肥方式為，基肥(43 號 500 g+過磷酸鈣 278g) /行，定植 25 天後，開始葉面施肥以 340 ppm N，228 ppm P，287 ppm K 每天噴施，並記錄用量供試驗結束統計用量為($N:P_2O_5:K_2O$ = 10:14.36:9.1) g/株，約一般傳統施肥 0.67~0.8 倍量。5.空白對照組則不施用肥料。

2. 2012 年二期作

目地：比較 3 種不同養液量和傳統施肥對洋香瓜(臺南 11 號)的影響。

肥料試驗處理主要參考作物施肥手冊之推薦施肥量(公斤/公頃)，洋香瓜($N:P_2O_5:K_2O$=110~150：210~250：160~200)，並設計五種施肥形式包含，一般傳統施肥、葉面施肥、3 種養液土耕滴灌等，試驗期程 7 月 27 日育苗、8 月 10 日定植、9 月 7 日授粉(定植後 28 天)、11 月 15 日第一次採收(授粉後 38 天)、11 月 19 日第二次採收(授粉後 42 天)、11 月 22 日第三次採收(授粉後 45 天)。

一般傳統施肥量因前期作肥力殘留嚴重，因此用肥量減半，訂為

($N:P_2O_5:K_2O$ = 7:1.52:7) g/株，基肥(特 42 號+過磷酸鈣) /18 株/行，9 月 11 日大果期追肥(特 42 號) /18 株/行。養液土耕滴灌為一般傳統施肥 0.7 倍($N:P_2O_5:K_2O$ = 4.77:1.1:5.06) g/株、0.56 倍($N:P_2O_5:K_2O$ = 3.82:0.88:4.05) g/株、0.35 倍($N:P_2O_5:K_2O$ = 2.39:0.55:2.53) g/株，需水量 37.8 升/株，以 3000 ppm N、P、K 供應，以 5 階段供肥，每天滴灌 4 次為期 53 天。葉面施肥方式為，基肥使用控釋肥編號 204，初期溶出率 4.5%+過磷酸鈣，待著果後開始葉面施肥以 378 ppm N，165.2 ppm P，68.13 ppm K 每天噴施，並記錄用量供試驗結束統計為($N:P_2O_5:K_2O$ = 4.3:0.83:7.0) g/株，約一般傳統施肥 0.54~1 倍量。

3. 2013 年一期作

目地：確定洋香瓜(天華)養液滴灌的氮肥等級。

肥料試驗處理參考作物施肥手冊之推薦施肥量(公斤/公頃)，洋香瓜($N:P_2O_5:K_2O$=110~150：210~250：160~200)，每公頃隧道式約 6 千~1 萬株，直立栽培株數約為 2.1 萬~2.4 萬株，並根據植體分析結果與生產潛力，分別將施肥處理設計如下，主要進行洋香瓜氮肥 5 級處理、傳統施肥(T)與控釋葉面肥(C)等。

試驗期程 2 月 8 日定植、3 月 16 日授粉(定植後 36 天)、5 月 8 日開始採收(授粉後 51 天)。主要進行洋香瓜氮肥 5 級處理($N-P_2O_5-K_2O$=(2、6、10、14、18)-10-10 g/株)、傳統施肥(T)(10-10-10 g/株)與控釋葉面肥(C)(5-5-5 g/株)。控釋肥初期溶出率 10%，全量當基肥施用，結果期後搭配葉面肥施用，傳統施肥分 2 次施肥(基肥與追大期)，養液土耕滴灌，首先將硫酸銨、硝酸銨、尿素混和配製成 3000 ppm N，以過磷酸鈣配製成 3000 ppm P，以硫酸鉀配製成 3000 ppm K 供應，配合 PLC 程式控制器，以 5 階段供肥，每天滴灌 2~4 次。

4. 2013 年二期作

目地：確定洋香瓜(臺南 11 號)養液滴灌的氮肥等級與水份影響。 試驗期程：耐熱品種洋香瓜(臺南 11 號)，8 月 12 日育苗、8 月 23 日定植、9 月 25 日授粉(定植後 33 天)、11 月 5 日開始採收(授粉後 41 天)。主要進行洋香瓜氮肥 5 級處理($N-P_2O_5-K_2O$=(2、4、6、8、10) -10.8-8.2 g/株)，養液土耕滴灌，首先將硫酸銨、硝酸銨、尿素混和配製成 3000 ppm N，以過磷酸鈣配製成 3000 ppm P ，以硫酸鉀配製成 3000 ppm K 供應，配合 PLC 程式控制器，以 7 階段供肥，每天滴灌 2~5 次。

5. 2014 年二期作

目地：確定洋香瓜(天華)養液滴灌的氮肥分配率與水份影響。

試驗期程：行株距 1.5 m ×0.4 m，採單幹整枝一株一果栽培，疏植株距 0.5 m，7 月 31 日育苗、8 月 18 日定植、9 月 17 日授粉(定植後 30 天)、9 月 22 日疏果、11 月 3 日開始採收(授粉後 47 天)。主要進行洋香瓜，主要探討 4 種營養生長期的氮肥分配率與 2 種供水量，期間總肥料量為(N-P_2O_5-K_2O = 6-10-8 g/株)，氮肥分配率處理為授粉期前施用(45%、50%、60%、85%) 氮肥量，養液配方，將硫酸銨、硝酸銨、尿素混和配製成 3000 ppm N，過磷酸鈣配製成 3000 ppm P ，硫酸鉀配製成 3000 ppm K 供應，水份處理生長全期 1 倍水量為 61.5 L/株，2 倍水量為 123 L/株，配合 PLC 程式控制器，以 7 階段供肥，每天滴灌 2~5 次。

三、氣候資料搜集

溫室試驗期間以 WatchDog 小型氣候資料收集器(Model 400 與 Model 900ET)，每 0.5 小時紀錄一次，溫室內離地 1 米之氣溫、土壤水分含量與水分張力值變化。

四、土壤、植體及果品採樣

土壤於試驗前後各採樣 1 次，共 2 次；植體採樣部分，試驗結束後植體全株採樣，藉以分析植體營養含量；果實採樣部分，洋香瓜每處理取所有果實測其平均單果重、良率等，並每處理取 1 顆果實測其榨汁率、可溶性固形物(total soluble solids；^{o}Brix，糖度)。

五、土壤及植體分析

土壤導電度以土：水(w/v)＝1：5 作成懸浮體，過濾後以導電度計(WTW / Cond 730 型)測定之。pH 值以土：水(w/v)＝1：1，平衡一小時後以玻璃電極法(TOADKK / HM-25R)測定之[(7)]。有機質以總有機碳(TOC)分析儀 (analytikjena / EA4000)測定之。土壤磷以 Bray No.1 抽出[(10)]，鉀、鈣及鎂以 Mehlich No. 1 抽出後用感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP)(HORIBA / ULTIMA2)測定之[(7,9)]。

將植體樣本採取後，先以蒸餾水或自來水初步清洗，再以蒸餾水及去離子水沖洗後，以乾紗布擦乾植物體表面的水，置入 70℃的烘箱中 24 小時，分別秤重並磨粉備用。氮以元素分析儀(elementar / Vario EL III)分析之，磷、鉀、鈣及鎂則先以三酸(HNO_3:$HClO_4$:H_2SO_4= 9:2:2)分解至澄清，磷用鉬黃法測定，鉀、鈣、鎂及微量元素用感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP)(HORIBA / ULTIMA2)測定[(8)]。

六、統計分析

利用 SAS 9.1 統計數據，經變方分析(Analysis of Variance, ANOVA)測驗處理間之顯著性，再以最小顯著差異性測驗(Fisher's protected least significant difference test, LSD test)進行處理間平均值的差異檢定，在 $p \leqq 0.05$ 時視為顯著，同時進行產

量、氮肥與氮肥平方回歸分析。

七、評估不同施肥處理間之經濟效益

包含用管線折舊、電費、施肥費用、人工等生產支出與產量、品質等生產收入。

結果與討論

一、養液栽培與其他施肥法的肥效比較

不同的栽培環境都可以搭配有最合宜的施肥方式，在電力或灌溉系統不發達的農田，使用控釋型肥料取代傳統施肥，具有節省追肥人力、省肥 20%或提高 20%產量的功效；葉面肥肥效迅速，可快速補充植體所缺乏的營養含量，藉由調整養份比率來提升產品品質；噴灌栽培則可克服地形高差，節省大量人力；而在數種灌溉方式中，目前仍以滴灌（Drip irrigation）最具節水及省肥功效，它可以在有效根系範圍提供較高的養份濃度，供應作物生長，且對提升作物產量和品質最具增進效果。因此研究目標之一，比較 4 種施肥方式在洋香瓜栽培的影響。

1. 比較傳統施肥、養液滴灌、控釋型肥料與葉面施肥的肥料效果

由表一資料可知，2012 年 1 期作洋香瓜的單果重、糖度等產量資料在三種肥料處理(1×傳統施肥量、0.8×控釋肥、0.5×養液土耕滴灌)並沒有差異，顯示以作物施肥手冊為施肥基準下，使用養液土耕滴灌(125 kg N ha^{-1})相對可省肥 50%不會對洋香瓜產量造成影響，而控釋肥則可省肥 20%，(M.J. Cabello, 2008)指出甜瓜滴灌(106 kg N ha^{-1})有最大相對產量，施肥 30 kg N ha^{-1} 減產 20%，393 kg N ha^{-1} 減產 15%。0.7~0.8×葉面施肥處理果重偏低是因授粉時施葉肥的濕度問題導致著果不良，文獻亦提到濕度、低溫、陰天等亦會影響授粉，但試驗中發現葉面肥處理的洋香瓜(天華)植株的網紋與抗萎凋(耐熱)較佳，進一步探討抗萎凋的原因可能與葉片厚度有關，冬季洋香瓜(天華)葉面肥處理葉厚平均 0.579 mm 與其他處理有顯著差異，甚至與耐熱型洋香瓜臺南 11 號葉厚 0.583 mm 相似，或許葉面施肥有提升洋香瓜耐熱能力，(Fu, J., & Huang, B. , 2003、Zhao, W. Y., etc, 2008)亦支持這個論點。對照組不施肥，雖然仍有果實，但糖度明顯較其他處理低 2 度，商品價值低，與缺肥導致葉綠素值較低，進而影響光合作用有關，因此雖然土壤肥力不低，但施肥仍有其必要性。

雖然養液能滴灌省肥至少 50%，但試驗後仍發現，土壤 EC(dS m-1)由原先 0.62~0.90，變為 0.45~1.24，除空白組與 0.8 倍控釋肥降低外，一般傳統施肥相似，而養液處理則有提升，顯示養液處理殘肥量高，因可更進一步減少施肥。

2. 以傳統施肥量為標準確認養液滴灌省肥的程度

依據 2012 年 1 期植體分析結果，估算每株洋香瓜 NPK 吸收量為：N < 4 g，P_2O_5 < 0.6 g，K_2O < 7 g，且因前期作肥力殘留嚴重，因此傳統施肥量參考施肥手冊用肥量減半估算，訂為($N:P_2O_5:K_2O$ = 7:1.5:7) g/株，產量結果如表二，顯示在減半的肥料基礎上，傳統施肥量、0.7×養液、0.56×養液、0.35×養液，4 種

處理對產量品質沒有影響，就表面資料而言，似乎養液滴灌可以省肥 65%以上，然而根據物質不滅定律與質量平衡概念，植體的養分吸收量(N < 4 g)遠高於 0.35x養液所提供的量(2.45 g N)，多吸收的部分勢必由土壤提供，雖然土壤分析資料沒有明顯變化，應是單一作變化量太少無法反映出來，若長期以此低投入栽培，勢必造成土壤肥力下降。

因作物施肥手冊是以隧道式洋香瓜栽培為主，並以面積為單位，來評估施肥量，而設施養液滴灌之直立式栽培，則需以株數為單位，來評估施肥量，二者單位不同，雖可以栽培密度簡單換算，但仍存在很大的落差，因此若以作物施肥手冊推薦施肥量為基準，輔以簡單的省肥%級距，來評估養液滴灌適宜的施肥量是明顯不足的，而應以報酬遞減律的觀念，重新找出適合的施肥量。

二、養液滴灌栽培洋香瓜的氮肥利用效率

依據農糧署 101 年~103 年農業年報統計，雲嘉南地區洋香瓜單位面積產量，以雲林縣 16505~18226 kg/ha 最高，臺南市 11982~13543 kg/ha 次之，嘉義縣 11627~12494 kg/ha 最低，平均約為 14103 kg/ha，以 2012 年 1、2 期作果品分析表(表一、二)估算 80%收成率，預估養液滴灌直立式栽培產量約為 18600 kg/ha，較年報產量約高 30%，理論上較高的產量需要更多的肥料供應，然而實際的養液滴灌用肥量卻比傳統施肥量少，表示滴灌有較高的施肥效率，因此養液滴灌相對於傳統施肥有更高的生產潛力。

1. 氮肥 **5** 級生產潛力與施肥量的確認

由 2013 年一期作洋香瓜試驗後土壤 EC(dS m-1) 以 N 18 g/株處理增加最多達 0.35，而 N 6 、N 10、N 14 分別增加 0.11、0.13、0.21，顯示每株洋香瓜 N 肥用量 18 g，明顯造成鹽害累積，而適宜的 N 肥應為 6~10 g/株。植體分析顯示植體氮含量有隨施氮量增加而增加，鉀含量以控釋葉面肥與傳統施肥處理最低，且這 2 種處理的氮磷含量亦低，表示肥料利用率低，顯示僅 1、2 次的基肥與追肥的相對大量施肥，肥效不如少量多次的養液滴灌，以植體分析數據與肥料投入量計算，每株 6 公克氮肥，其氮肥利用效率最高可達 80%。

第一期洋香瓜果品分析如表三，果汁糖度通常較中心糖度低 2~3 度，中心糖度以 N6 處理最高 16.1 度達顯著差異，其餘處理中心糖度沒有差異，有隨氮肥用量越高，糖度越低的趨勢，將缺株、裂果等不良品去除，即所謂的商品果收成率，發現養液滴灌的收成率為 93%~96%，遠高於傳統施肥收成率 75%，但當氮肥提高到 18 g/株時，收成率顯著下降為 82%，與其他養液處理者有顯著差異，總均果重以傳統施肥最重 2685 公克/顆，達顯著差異，N2 處理最小 2328 公克/顆，其餘的處理都相近在 2437~2483 公克/顆，雖然總均果

重以傳統施肥最重，但收成率太低造成面積產量偏低。

第二期洋香瓜試驗後 N2、N4、N6 的 EC 較試驗前有下降現象，而 N8、N10 反而增加，果品分析如表五，因著果期連續 2 周陰天，導致著果不良，部分處理著果位達 20 節以上，嚴重影響產量與品質。統計上各處理間不論均果重、收成率、糖度、榨汁率等，皆無顯著差異，此結果除了氣候因子外與氮肥級距沒有分開亦有關，結果與第一期作 N2、N6、N10 的處理相似。

2. 生產潛力與經濟效應評估

由圖二可知，氮肥處理對洋香瓜產量有顯著影響，方程式 $y = -100.98x^2 + 1834.1x + 39906$，$R^2 = 0.926$，依方程式而言，當施肥量 N = 9.1 g/株有最高產量 48234 kg/ha，約為 103 年年報雲嘉南平均產量 14551 kg/ha 的 3 倍以上。由表四可知依據單果重換算單位面積株數一株一果，1 公頃種 20,000 株，乘上收成率，依糖度訂定價格(100 元/公斤)，並評估生產支出，包含肥料、電費、勞力、管線折舊等，換算收益以 N6 表現最佳，一期可賺得 474 萬元/公頃。控釋葉面肥收入最低為 390 萬元/公頃，此與控釋肥單價偏高、施肥量少導致產量低且使用滴帶設備有關，傳統施肥收益為 398 萬元/公頃，亦遠低於相同施肥量的 N10 g/株收益為 464.6 萬元/公頃。

小結：第一期作洋香瓜結果顯示，養液滴灌處理的產量、品質與收益，較其他肥料處理者為佳，但養液的氮肥用量需適當並非越多越好，以 N 6 g/株收益最佳，太少果小，太多收成率差，若以方程式評估則以 N 9.1 g/株有最高產量。

三、土壤水份管理對設施洋香瓜的影響

肥料效率與土壤水分息息相關，適當的水份幫助作物更容易吸收肥料且產量品質提升(Kirnak, H.,etc.,2005、Pier, J. W., & Doerge, T. A., 1995)，但過多的水分，因淋洗作用與厭氣環境造成氮肥的損失(Vázquez, N.etc., 2006)，利用土壤水分張力計與不同的量測深度，可以呈現土壤不同深度的水分的變化與代表意義，從而作最好的灌溉管理(Pier, J. W., & Doerge, T. A. ,1995、Pier, J. W., & Doerge, T. A., 1995)，雖然西瓜在土壤水份含量 6~7.2 KPa 有較佳的產量(Pier, J. W., & Doerge, T. A., 1995)，然而田間容水量之水份張力為 33.3KPa，若低於此數值則可能發生土壤淋洗，因此如何控制表土有適宜的水份含量與最少的土壤淋洗，可以提升肥料利用效率。

由於洋香瓜屬淺根作物，大多數根群集中在表土，2013 年水分試驗，將石膏塊埋設 4 個深度 A(10cm)、B(20cm)、C(30cm)、D(40cm)，用以了解溫室洋香瓜生長期間灌水量 0.5~1.5 L/株天是否足夠，土壤水分變化如圖一，因石膏塊埋入土前有未充分吸水故初期讀值甚高，待石膏塊與土壤環境達水分平衡時才有測值，第

一期作試驗生長期間 10 公分的張力變化最劇烈，為增加授粉率避免落果，3 月 11 日減少水分為 0.8 L/株/天，10 公分深張力最高可達 100 kPa，20 公分深張力最高可達 60~70 kPa，顯示根系主要分部在 10~20 公分間，水份供應為足夠中的缺乏，下期作可增加水量，3 月 25 日疏果完畢增加供水為 1.5 L/株/天，張力明顯下降，4 月 22 日準備增甜減少供水為 0.2 L/株/天，張力逐漸增加，第一期作總供水量累積為 53 L/株/期，與農友溝灌栽培美濃瓜用水量 257 L/株/期，相比可省水 80%。果品糖度雖高，但口感偏硬，判斷應為生長後期水份供應太少，需增加水量，有文獻指出土壤水分在 pF 2.0~1.5 (9.8~31 kPa)洋香瓜生長良好，因此第二期作將增加供水量與灌溉頻率。

第二期作試驗生長期間，由於灌溉頻率與水量較第一期作增加，故張力大致處於 0~40 kPa 間，且趨於平緩，2 期作 1 倍水量處理總供水量累積為 56.1 L/株/期，2 倍水量處理為 112.2 L/株/期，發現 2 倍水量處理者，全期 10 公分張力皆小於 20 kPa，30 公分張力幾乎維持在 10 kPa，顯示 2 倍水量處理水份偏高，恐有淋洗之慮，而 1 倍水量處理張力變化平緩且維持在 40 kPa 以下，顯示冬季洋香瓜灌水量 56.1 L/株/期已經足夠。

雖然試驗結果水份處理對產量沒有顯著差異，可能與 1 倍水量已適合洋香瓜生長，未有缺水逆境，且與 2 倍量水分處理無法區隔有關，然而由後續儲放可以發現 2 倍量水分處理者，其儲存時間較短而減少上架時間，影響後續販售行為，因此水份處理與儲架壽命的關係值得進一步研究。

四、氮肥分配率對設施洋香瓜的影響

2014 年針對不同氮肥分配率(45.5%~85%)與水量處理對設施洋香瓜的影響進行研究，產量統計不同氮肥分配率(45.5%~85%)與灌水量無交感現象，果品分析如表六，均果重統計，氮肥分配率處理沒有差異，2 倍灌水量均果重大於 1 倍灌水量，達顯著差異，糖度則所有處理都沒有顯著差異、榨汁率結果與均果重相似，氮肥處理沒有差異，2 倍灌水量大於 1 倍灌水量，雖然不同氮肥分配率(45.5%~85%)對果品沒有差異，但根據現場植株發育狀況，以初期 60%氮肥分配率的生長速度較快，有助縮短栽培時間，此結果與作物施肥手冊的定植前 20 天累積的氮肥分配率相似。

結論

2012 年~2014 年種植五期作設施洋香瓜(天華、臺南 11 號)試驗，養液滴灌方式相較於傳統施肥方式，可減少施肥量 30%~50%；養液滴灌合理施肥量(公克/株/期作)為 N = 6~10，P_2O_5 = 10，K_2O = 8；以每株 6 公克氮肥，其氮肥利用效率最高

可達 80%；且收成率達 90%以上，較傳統栽培提高 15%以上；夏季灌水量需超過 53 公升/株/期，而在冬季灌水量 56.3 公升/株/期已經足夠，相對於傳統溝灌可節省約 80%用水量，且大幅減少雜草生長與除草人力，相對提升肥料效率；雖然初期氮肥分配率(45%~85%)處理，對土耕養液滴灌的洋香瓜產量沒有顯著影響，但若考慮生長速度與發酵果比率，則以留蔓期前累積投入 60%的氮肥較佳。以 2013 年 1 期作天華為例，全期作氮肥為 6 g/株，灌水量 53 公升/株/期，均果重 2483 公克、收成率 96%，糖度 16.1，用 100 元/公斤價格換算，每栽培期約 90 天，一期收益可賺得 474 萬元/公頃，若一年栽種 3 期每分地產值超過百萬不是夢想。

致謝

本研究承蒙農委會科技計畫經費支持與土肥研究室全體同仁協助執行，才得以順利完成，謹此致謝。

引用文獻

1. 江汶錦、黃瑞彰。2011。控釋型肥料應用於水稻栽培之研究。臺南區農業改良場研究彙報 58：40-4
2. 邱禮弘、陳榮五，2001，排水設施及葉面鈣肥對蜜紅葡萄之影響。臺中區農業改良場研究彙報 71:35-42 。
3. 戴振洋，蔡宜峰，郭孚燿，1996，肥料對不同品種甘藍穴盤苗生長之影響。臺中區農業改良場研究彙報 50:11-20。
4. 謝明憲，劉依昌，許涵鈞，江汶錦，鍾瑞永，2010，小果番茄肥液滴灌管理研究。臺南區農業改良場研究彙報 59：45-53
5. 羅秋雄，2005，作物施肥手冊。
6. 賴文龍、郭雅紋、陳玟瑾。2012。氮肥用量對水稻產量之影響。臺中區農業改良場研究彙報 114:35-43。
7. 張愛華。1981。本省現行土壤測定方法。p. 9-26。作物需肥診斷技術。臺灣省農業試驗所特刊第 13 號。
8. 張淑賢。1981。本省現行植物分析法。p. 53-59。作物需肥診斷技術。臺灣省農業試驗所特刊第 13 號。
9. 易杰祥、吕亮雪、刘国道。2006。土壤酸化和酸性土壤改良研究。华南热带农业大学学报 12(1): 23-28。
10. Johnston, A. E., K. W. T. Goulding, and P. R. Poulton. (1986). Soil acidification during more than 100 years under permanent grassland and woodland at Rothamsted. Soil use and management 2(1): 3-10.
11. 谷田沢 道彦、東野 正三，(1953). Phosphorus Turnover in Plant Leaves. Studies on the Folial Dressing (Part 3) Journal of the science of soil and manure, Japan 23(4), 297-301.[in Japanese]
12. Glenn, G.M.. B.W. Poovaiah, and H.P. Rasmussen. (1985). Pathway of calcium penetration through isolated cuticles of 'Golden Delicious' apple fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(2):166-171
13. Locascio, S.J., Smajstrala, A.G., (1995). Fertilizer timing and pan evaporation scheduling for drip irrigation method. In Proceeding of the Fifth International Micro Irrigation Congress on Micro Irrigation for a Changing World. Conserving Resources/ Preserving the Environment held at Hyatt Regency Orlando, Orlando, Florida, April 2-6, pp. 175-180
14. M. Díaz-Zorita, M. V. Fernández-Canigia and G. A. Grosso. (2001). Applications of Foliar Fertilizers Containing Glycinebetaine Improve Wheat Yields. Journal of Agronomy and Crop Science. 186(3):209–215.

15. Miller, R.J., Rolston, D.E., Rauschkolb, R.S., and Wolf, D.W., (1976). Drip irrigation of nitrogen is efficient. California Agriculture. 30:16-18.
16. Papadopoulos, I., 1992. Fertigation of vegetables in plastic-house: present situation and future aspects. Acta Horticulturae 323:151–174.
17. Peter M. Neumann, Yael Ehrenreich and Zvia Golab. (1981). Foliar Fertilizer Damage to Corn Leaves: Relation to Cuticular Penetration1. Agronomy Journal. 73(6): 979-982.
18. Peter M. Neumann. (1979). Rapid Evaluation of Foliar Fertilizer induced Damage: N, P, K, S on Corn1. Agronomy Journal. 71(4): 598-602.
19. R. Reuveni and M. Reuveni. (1998). Foliar-fertilizer therapy — a concept in integrated pest management. Crop Protection. 17(2): 111-118.
20. Zhao, W. Y., Xu, S., Li, J. L., Cui, L. J., Chen, Y. N., & Wang, J. Z. (2008). Effects of foliar application of nitrogen on the photosynthetic performance and growth of two fescue cultivars under heat stress. Biologia Plantarum, 52(1), 113-116.
21. Vázquez, N., Pardo, A., Suso, M. L., & Quemada, M. (2006). Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. Agriculture, ecosystems & environment, 112(4), 313-323.
22. Pier, J. W., & Doerge, T. A. (1995). Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. Soil Science Society of America Journal, 59(1), 145-150.
23. Papadopoulos, I. (1992, March). Fertigation of vegetables in plastic-houses: Present situation and future prospects. In Symposium on Soil and Soilless Media under Protected Cultivation in Mild Winter Climates 323 (pp. 151-174).
24. Cabello, M. J., Castellanos, M. T., Romojaro, F., Martinez-Madrid, C., & Ribas, F. (2009). Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. Agricultural water management, 96(5), 866-874.
25. Fu, J., & Huang, B. (2003). Effects of foliar application of nutrients on heat tolerance of creeping bentgrass. Journal of plant nutrition, 26(1), 81-96.
26. Hartz, T. K., & Hochmuth, G. J. (1996). Fertility management of drip-irrigated vegetables. HortTechnology, 6(3), 168-172.
27. Kirnak, H., Higgs, D., Kaya, C., & Tas, I. (2005). Effects of irrigation and nitrogen rates on growth, yield, and quality of muskmelon in semiarid regions. Journal of plant nutrition, 28(4), 621-638.
28. Pier, J. W., & Doerge, T. A. (1995). Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. Soil Science Society of America Journal, 59(1), 145-150.